

## DISEÑO DE CÁMARA ANECOICA RECTANGULAR PARA RADIOFRECUENCIA

Pedro Arzola Morris<sup>1</sup>, Carlos Asencio Morales<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dpto. de Telecomunicaciones, ISPJAE, MSc. [pedro.amorris@gmail.com](mailto:pedro.amorris@gmail.com).

<sup>2</sup> Dpto. de Telecomunicaciones, ISPJAE, Ing. [carlos.am@electrica.cujae.edu.cu](mailto:carlos.am@electrica.cujae.edu.cu).

### RESUMEN

El artículo presenta un estudio realizado con el objetivo de determinar los criterios de diseño y las dimensiones óptimas de una Cámara sin eco rectangular de radiofrecuencia para su construcción en Cuba, teniendo en cuentas su rendimiento, su costo, los modelos a medir y el tipo de mediciones a realizar. Se pretende emplear materiales absorbentes desarrollados en el país. Se emplea el método de trazado de rayos para modelar su comportamiento. Para el modelado se considera el peor caso en la calidad de los materiales absorbentes. El método del trazado de rayos se utiliza para estimar el nivel de señal interferente que afecta la región de prueba de la cámara causado por las reflexiones residuales atenuadas en las paredes de esta, aplicando la Ley de Snell. Se analizan hasta tres reflexiones consecutivas posibles y se evalúan las pérdidas por propagación y la atenuación de las estructuras absorbentes en función al ángulo de incidencias de los rayos, comparando el nivel de la señal interferente resultante con respecto al rayo útil directo.

Con los resultados obtenidos se logra determinar los criterios de diseño y las dimensiones óptimas de la Cámara Anecoica con geometría rectangular, con las mínimas dimensiones necesarias, de modo que logre la condición de espacio libre y permita la medición de antenas y modelos de RADAR, así como mediciones de compatibilidad electromagnética, con el mínimo costo posible.

**PALABRAS CLAVES:** cámara anecoica, materiales absorbentes, antenas, modelos de RADAR.

## DESIGN OF RECTANGULAR ANECHOIC CHAMBER FOR RADIOFREQUENCY.

### ABSTRACT

The article presents a realized study for the sake of determining the designing criteria and optimal dimensions of a chamber without echo of radio frequency for its construction in Cuba, having in beadings his performance, his cost, and models to measure and the type of measurements to realize. It is intended to use material absorbents developed at the country. The method of layout of rays uses itself stop to model his behavior. For the modeling considers the worst material quality. The method of the layout of rays utilizes to estimate the level of sign interference that it affects itself the trial caused region of the chamber for residual reflections attenuated in the walls, applying Snell's Law. They analyze even three consecutive possible reflections and the losses for propagation and the attenuation of absorbing structures in show evaluate to the angle of events of rays, comparing the level of the sign resulting interference regarding the useful direct ray.

With obtained results it is been able to determine the designing criteria and optimal dimensions of the Anechoic Chamber with rectangular geometry, with minimal necessary dimensions, so that he achieve the condition of free space and permit the measurement of antennae and models of RADAR, as well as measurements of electromagnetic compatibility, with the minimal possible cost.

**KEY WORDS:** Anechoic chamber, absorbent material, antennae, models of RADAR.

## INTRODUCCIÓN

Las cámaras anecoicas son áreas de trabajo de uso común en laboratorios y universidades, casi sin excepción de países del primer mundo, son un recinto que surgió para dar solución a los problemas que presentan los denominados campos abiertos ideales, los cuales constituyen una referencia de precisión de las medidas para un buen número de normas internacionales, el tiempo que dura la medición y las interferencias. Por lo que se puede decir que las cámaras anecoicas son un recinto que absorbe la energía electromagnética que incide sobre sus paredes y consta de dos partes fundamentales: La Jaula de Faraday y los materiales absorbentes de ondas electromagnéticas. La Jaula de Faraday es una estructura que apantalla los campos incidentes exteriores, posibilitando que los materiales absorbentes se encarguen de absorber la energía que rebota en las paredes de la cámara para poder realizar la medida con mayor precisión, generando así las características de propagación del espacio libre.

Las cámaras se pueden clasificar en anecoicas, semianecoicas y parcialmente cubiertas. En las cámaras anecoicas se necesita que no exista ningún tipo de reflejo en la zona de silencio (región que generalmente es  $1/3$  del ancho de la cámara y es donde se ubica el dispositivo a medir). En las semianecoicas se desea simular un espacio abierto sobre un plano de tierra metálico. En las cámaras parcialmente cubiertas el absorbente se usa para reducir las resonancias de la cámara. Esta última categoría no es puramente una cámara anecoica, pero son puramente utilizadas por estándares militares y de aeronáutica para medir la compatibilidad electromagnética de aparatos electrónicos.

Un componente de las cámaras anecoicas son los materiales absorbentes o anecoicos los cuales tienen la función principal de absorber la energía electromagnética y transformarla a otro tipo de energía, generalmente la transforman en calor, uno de los más conocidos es la espuma de poliuretano impregnada con partículas de carbón, la cual es cortada en pirámides para obtener una transición suave de impedancia entre el aire y el poliuretano dopado. Las pirámides generalmente se usan a frecuencias de microondas, ya que a bajas frecuencias se incrementaría su tamaño lo que provocaría un incremento del costo de la cámara. Producto de la limitante que presentan estos materiales para bajas frecuencias fue necesario buscar un material que presentara buenas propiedades de absorción a estas frecuencias, por lo que surgió la ferrita, la cual se coloca dentro de la cámara mediante losetas forradas con alfombra sobre una plancha de madera, como se muestra en la figura 1.



**Figura 1 Loseta de ferrita montada en madera, cubierta con alfombra. [1]**

En las cámaras que se utilizan para realizar mediciones de compatibilidad electromagnética es muy común emplear absorbentes híbridos, pero si se quiere medir el comportamiento de diferentes parámetros de una antena no es recomendable emplearlo.

## DESARROLLO

El principio de funcionamiento de una cámara es similar al de una línea de transmisión que presenta una impedancia característica de 377 ohm, esto ocurre cuando una onda incide de manera perpendicular en una de las paredes de la cámara, la antena que interviene en la medición puede ser modelada como una fuente de voltaje. Una cámara que presente pocas reflexiones se puede modelar como una línea de transmisión que termine en cortocircuito añadiéndole láminas revestidas con una sustancia que proporcione una resistividad de 377 ohm para posibilitar que la onda sea absorbida y atenuada lo suficiente, generalmente estas láminas son ubicadas a una distancia de  $\lambda/4$  de la pared. Estos fueron los primeros enfoques relacionados con el funcionamiento y optimización de las cámaras anecoicas, los cuales se nombran lámina de Salisbury y Jaumann Sandwich.

Existen diferentes estructuras de cámaras anecoicas, cada una depende de la frecuencia de trabajo, se pueden encontrar grandes construcciones para altas frecuencias y pequeñas construcciones para bajas frecuencias. El tamaño de la cámara determina el tipo de prueba que se puede realizar dentro de ella, por ejemplo las cámaras de pequeñas dimensiones se utilizan específicamente para realizar pruebas sobre Antenas.

Para mediciones directas de la radiación en el área de Fraunhofer existen dos tipos principales de cámaras:

Las rectangulares y las piramidales. El primer factor que determina el tamaño de una cámara rectangular es el diámetro de la zona de silencio. La longitud de la cámara debe ser tal que permita a la antena receptora estar en la región de Fraunhofer de una antena cuyo tamaño sea igual al diámetro de la zona de silencio. Esta distancia puede ser calculada empleando la siguiente ecuación:

$$R_{\min} = \frac{2D^2}{\lambda f_1} \quad (1)$$

Donde D es el diámetro de la zona de silencio y  $\lambda$  es la longitud de onda de la frecuencia más baja de operación. A esta distancia hay que añadir el diámetro de la zona de silencio y el espesor del absorbente a utilizar. El desempeño óptimo de las cámaras rectangulares está dado por el tratamiento que se le da al material absorbente, ya que si la onda electromagnética incide con un ángulo cercano a la normal a la superficie, más atenuación se conseguirá de la misma y por ende menos nivel de señal aparecerá en la zona de silencio. A frecuencias inferiores a 5000 Mhz el absorbente en las paredes debe ser muy grueso debido a que la ganancia de las antenas a esa frecuencia no es muy alta y gran parte de la energía radiada ilumina las paredes laterales, una solución podría ser disminuir el ángulo de incidencia para aumentar la absorción pero esto provocaría un aumento del tamaño de la cámara y a su vez el costo. Para ello surgieron las cámaras con forma piramidal, donde la onda reflejada en el área especular no se elimina, sino que se utiliza para crear un comportamiento de onda plana en la zona de silencio, esta zona especular se localiza cerca de la antena receptora. Para crear el comportamiento de onda plana el rebote (de una sola reflexión) en las paredes laterales de la zona más estrecha de la cámara crea un conjunto de ondas directas y reflejadas paralelas, lo cual da el comportamiento de onda plana, como se muestra en la figura 2.

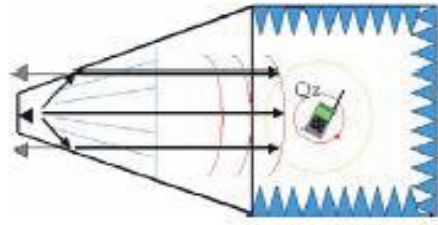


Figura 2. Cámara en forma piramidal. [1]

El ancho y el alto de la cámara se basan exclusivamente en el diámetro de la zona de silencio, el largo de la cámara debe ser tal que el ángulo de la estructura piramidal sea de 28 grados. Aunque este tipo de cámaras pueden ser empleadas para todo tipo de frecuencias, a frecuencias altas el posicionamiento de la antena receptora es crítico debido a que la separación (en términos de longitud de onda) entre la antena receptora y el área especular cambia con la frecuencia, por lo que este tipo de cámaras es bueno para mediciones donde se hagan barridos de frecuencia.

Para el diseño de una cámara es necesario tener en cuenta parámetros generales como son: tipos de mediciones a ser realizadas, bandas de frecuencias de operación, espacio físico disponible, método de recepción para pruebas y el costo. Además se deben tener en cuenta los siguientes factores: ecuación de campo lejano debido a que los campos radiados por una antena cambian con la distancia y llevan asociado dos tipos de energía (energía radiada y energía reactiva), la energía reactiva prevalece en la zona cercana a la antena, mientras que en la zona lejana se encuentra en gran medida la energía asociada a los campos de radiación, la cual se estudia como solución de onda plana ya que a una distancia lo suficientemente grande en relación con la longitud de onda los campos formados se aproximan al frente de onda como una superficie plana. También se debe tener en cuenta la menor y mayor frecuencia de operación de la antena patrón y los equipos con la correspondiente selección del material absorbente a utilizar.

El peor caso de nivel de señal en la región de prueba se estima mediante el método del trazado de rayos, el cual es considerado el método convencional para determinar el ángulo de incidencia. Este método plantea que la energía puede propagarse desde la antena patrón hacia la región de prueba por varios trayectos debido a que el absorbente no es ideal, varios de estos trayectos se muestran en la figura 3.

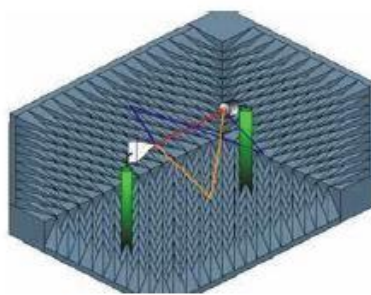


Figura 3. Ilustración de trayectos en 3D. [2]

Los rayos más importantes que alcanzan la región de prueba son: el rayo de trayectoria directa desde la antena patrón hacia la región de prueba, rayos especulares con reflexión simple desde las paredes laterales (incluyendo el techo y el piso) y rayos de dos saltos que golpean ambas, las paredes laterales y la pared del final también son considerados. Los rayos de más de tres rebotes no son considerados ya que el rayo es atenuado cada vez más en cada punto de inflexión. En la figura 4 se representan las múltiples trayectorias en una cámara rectangular.

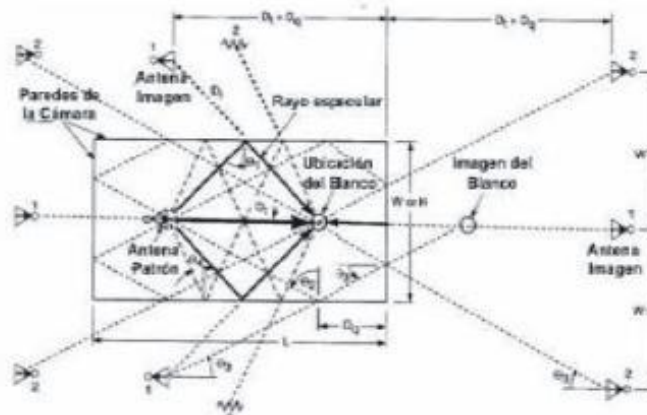


Figura 4. Ilustración de múltiples trayectorias. [2]

Cada uno de los rayos puede ser analizado como si hubiese provenido de una imagen de la antena patrón. Las imágenes asociadas con reflexiones de un solo salto son simplemente la imagen del reflejo de la antena patrón en la pared lateral que el rayo golpea, es decir como si pudiese ver su reflejo en un espejo. Las imágenes asociadas con reflexiones de doble salto son formadas por la imagen de la antena patrón proyectadas en una extensión de la pared del final de la cámara. Una ventaja del concepto de imagen es la facilidad con que los rayos pueden ser dibujados. La línea que une cada imagen de primer orden con la antena real es perpendicular a la respectiva pared, y la antena real y su imagen son equidistantes de la pared. Esto provee una geometría simple para calcular el ángulo de incidencia en el absorbente. De acuerdo con la figura 5, se puede determinar el nivel de atenuación que presentará la señal debido al ángulo de incidencia con que impacte la onda en el material absorbente.

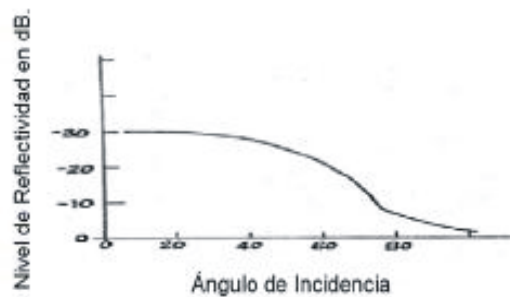


Figura 5. Relación entre el ángulo de incidencia y el nivel de reflectividad. [3]

Utilizando el software Mathcad (mediante el método de regresión) se puede obtener una ecuación característica que nos permita generalizar el proceso, es decir poder simular como realmente actúa el método del trazado de rayo y las atenuaciones que sufre la onda de acuerdo a la característica

direcciona, propagación e incidencia con respecto a las pirámides, la ecuación obtenida para ver la atenuación que presenta la onda al impactar con el material absorbente es la siguiente:

$$hdB(\alpha) = 4.316 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha^{2.989} \quad (2)$$

Es necesario destacar que el ángulo de incidencia se define como el ángulo respecto a la normal a la superficie. En la propuesta de diseño de la cámara, se consideró el peor nivel de reflectividad que podían presentar las pirámides (-30 dB). Primero se probó con una reflexión, la cual presentó una atenuación total de -51dB, lo que permitió corroborar que la geometría propuesta cumplía con los parámetros establecidos. Los resultados para ángulos de incidencia que oscilan entre 60 y 80 grados se muestran en la presente tabla.

**Tabla 1 Atenuación de la onda hasta tres reflexiones**

RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES					
Nro	Ángulo de incidencia	Reflectividad/panel absorbente	Respuesta de la CD.	Atenuación relativa por recorrido	Atenuación total en dB.
1	$\theta_{inc}$	$hdB(\theta_{inc}) = -29.657$	$F_{1dB} = -10.832$	$aten_{1dB} = -16.612$	$Atotal_{1dB} = -51.081$

## CRITERIOS DE DISEÑO

Después de realizado el análisis de las diferentes estructuras, se determinó que la que más se adapta a nuestros requerimientos es la rectangular, de la que se derivaron toda una serie de criterios (de tipo electrodinámico y económico) para su posterior realización.

En los casos donde se produzcan tres reflexiones la atenuación de la onda electromagnética es tal, que no hay que tener en cuenta su efecto en la región de medición. Para el caso de dos saltos la atenuación es alta pero muestra una mayor dependencia hacia la calidad de los paneles absorbentes. El estudio del problema evidencia que es importante la selección de las dimensiones de la cámara, por lo que la altura debe ser igual al ancho ya que se logra que los cuatro rayos provenientes de las paredes laterales, el piso y el techo lleguen en fase al punto donde se haya la antena bajo prueba lo que provoca un aumento del nivel de señal incidente (esto permite obtener una respuesta uniforme en el rango de frecuencias que se trabaja), pero en el caso contrario provocaría una fluctuación del orden de los 6 dB lo que haría a la cámara selectiva en frecuencia, es decir, se haría muy difícil predecir el nivel de señal que habría en la región de prueba de la cámara. La posición de las antenas dispuestas a lo largo de r (largo de la cámara) influye en la magnitud del ángulo de incidencia sobre las paredes, y en consecuencia en la reflectividad del panel absorbente, a mayor separación se logra una menor reflectividad. Se debe cumplir que el ancho (W) debe ser mayor o igual al doble del largo (r) para obtener niveles de atenuación considerables. Pero pruebas realizadas posteriormente demostraron que con una relación entre el largo

y el ancho de 1.2 se obtenía buenos niveles de atenuación. Además las dimensiones de la cámara están condicionadas por el tamaño de las antenas a medir y del método que se emplee para realizar la medida (campo lejano, CATR (Compact Antenna Test Range), NFFF).

El rango compacto de prueba por sus siglas en inglés CATR, produce una onda plana uniforme a una distancia relativamente pequeña a través de un sistema de reflectores o de un reflector parabólico simple. En este enfoque se utiliza una antena parabólica de precisión para colimar la energía a una distancia corta (aproximadamente de 10m-20 m), la disposición de los elementos se muestra en la siguiente figura:

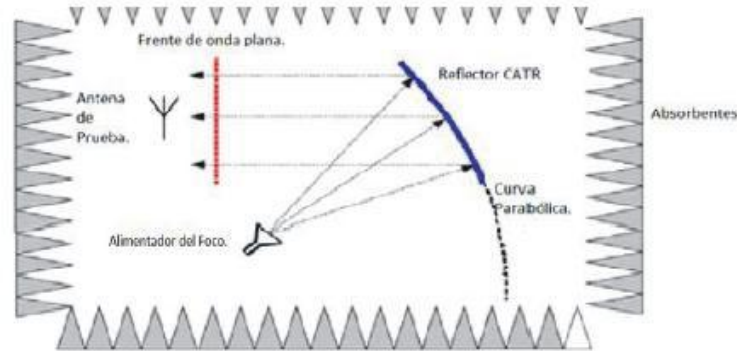


Figura 6. Disposición de los elementos en CATR. [4]

Las dimensiones lineales del reflector deben ser de 3 a 4 veces la de la antena de prueba, para que la iluminación sea muy próxima a una onda plana uniforme. Un canal se utiliza para compensar el reflector, evitar el bloqueo de apertura y reducir la difracción de la estructura primaria de alimentación. La superficie del reflector parabólico debe ser fabricada con una precisión muy alta con el objetivo de obtener una distribución lo más uniforme posible de la amplitud del campo incidente en la antena de prueba. Cuando se emplea este enfoque la zona de silencio (o zona de prueba), que es donde se coloca la antena a medir, debe estar entre un 50-60% del tamaño del reflector y las imperfecciones de campo en esta zona se miden en términos de errores de fase, desviaciones de ondulación de amplitud y desviaciones de amplitud progresivas. Las desviaciones aceptables para la mayoría de los CATR son: 10% de error de fase, menos de 1dB de ondulación.

El método campo-cercano/campo-lejano, por sus siglas en inglés (NF/FF), permite medir en zona cercana a la antena bajo prueba (en modo radiante) amplitud, fase y polarización del campo electromagnético. Los datos obtenidos se transforman en elementos de campo lejano a través de técnicas analíticas aplicadas con un software sofisticado dirigido por un sistema informático automatizado, que controla el procedimiento de medición.

La magnitud y fase del campo eléctrico tangencial se miden a intervalos regulares a lo largo de una superficie bien definida: un plano, un cilindro o una esfera que se encuentra cerca de la antena bajo prueba. En principio la medición se puede realizar en una superficie que puede ser definida en cualquiera de los 6 vectores ortogonales del sistema de coordenadas, sin embargo sobre los tres primeros se considera más conveniente para la adquisición de datos y debido a la simpleza desde el punto de vista tecnológico, la superficie plana. El campo se mide en los nodos de la malla como se muestra en la siguiente figura:



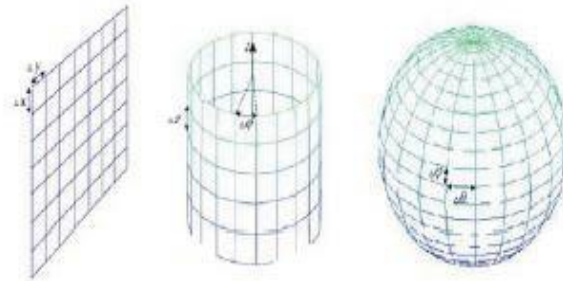


Figura 7. Superficies donde se mide la amplitud y fase del campo eléctrico tangencial a ellas. [4]

La presente tabla muestra el costo de cada una de las posibles estructuras que pueden ser construidas, atendiendo a sus dimensiones y al método de medición que se utilizará para medir la intensidad de campo.

Tabla de posibles costos y dimensiones de la cámara.

Largo.	10	8	6	10	8	6	m.
Ancho.	8	6.6	5	8	7	5	m.
Alto.	8	6.6	5	4	3.5	2.5	m.
Área.	448	299	170	304	217	115	m <sup>2</sup>
Precio.	44800	29900	17000	30400	21700	11500	USD.
Tamaño máximo de la antena a medir.							
1/3 del Ancho.	3.3	2.6	1.6	1.3	1.16	0.83	Diámetro de la zona de Silencio (QZ).
1/2 del Ancho.	5	4	3	2	1.75	1.25	CATR (Compact Antenna Test Range).
80% del Ancho.	6.4	5.2	4	3.2	2.8	2	Campo Cercano (m).

## CONCLUSIONES

En este trabajo se presenta un estudio realizado en torno a las diferentes geometrías que existen de las cámaras anecoicas, los métodos empleados para medir campo electromagnético a cierta distancia de la antena y los criterios de diseño a los cuales arribaron los autores para la realización de una propuesta cubana con el mínimo de recursos a emplear.

## REFERENCIAS

1. Rodríguez Pereira, Vicente: Introducción a las cámaras anecoicas para medición de campo electromagnético. Simposio de Metrología, Conference Paper, <http://es.scribd.com/doc/49159123/camaras>, 2004.
2. López Campo Mónica; Brito Flores, Paulina; Saénz Enderica, Fabian: Implementación de una cámara anecoica en la banda de 2-3 GHz. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/9850>, 2006.
3. Hemming , Leland H. Anechoic Chamber, 1982.
4. Balanis ,Constantine A. Modern Antenna Handbook, 2008.